



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UnB
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA
FLORESTAL

Tanielson Rodrigues da Silva

DENSIDADE ENERGÉTICA DA MADEIRA DE
Rhizophora mangle

Brasília - DF

2018



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA – UnB
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

Tanielson Rodrigues da Silva

DENSIDADE ENERGÉTICA DA MADEIRA DE *Rhizophora mangle*

Este trabalho de conclusão de curso de graduação foi elaborado para atender a demanda da disciplina de Trabalho Final.

Orientador: Prof. Dr. Ailton T. do Vale

Brasília - DF

2018



Universidade de Brasília
Faculdade de Tecnologia
Departamento de Engenharia Florestal

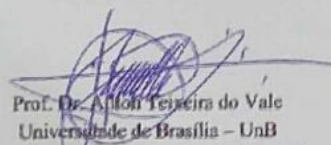
DENSIDADE ENERGÉTICA DA MADEIRA DE *Rhizophora mangle*

Estudante: Tanielson Rodrigues da Silva

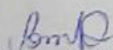
Matrícula: 14/0163158

Orientador: Prof. Dr. Ailton Teixeira do Vale

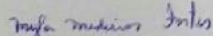
Menção: MS



Prof. Dr. Ailton Teixeira do Vale
Universidade de Brasília – UnB
Departamento de Engenharia Florestal
Orientador



Bióloga Bruna Bárbara Maciel Amoras Orellana
Universidade de Brasília – UnB
Membro da Banca



Engenheira Florestal Myla Medeiros Fortes
Universidade de Brasília – UnB
Membro da Banca

Brasília – DF

2018

*“Seremos conhecidos para sempre pelas
pegadas que deixamos”.*

Pensamento Indígena

AGRADECIMENTO

Ao Povo Indígena Potiguara da Paraíba, ao qual sou membro. Por ter acreditado em meu potencial e ter me dado força para continuar na Universidade de Brasília – UnB. A minha família, que sempre me apoia e pelos inúmeros incentivos. Em especial aos meus pais que são minha inspiração, aos meus irmãos Bruno, Laís e Tamara e aos sobrinhos Maria Eduarda, Naíris, Mariane e Moisés.

Aos Estudantes Indígenas do Brasil, em especial aos que estudam na UnB, Companheiros de lutas e conquistas dentro do espaço acadêmico. Aos estudantes do Curso de Engenharia Florestal, em especial: a Hauni, o Bombeiro, Maestro, Vitoria, Dani, Suli, Natacha, a Irmã, Paixão, Mateus, Ediberto e Isabela. Agradeço aos professores do curso de Engenharia Florestal, em especial, ao meu orientador pelo aprendizado e tantas conversas sobre o tema. Agradeço também ao Vanduí que me ajudou nos experimentos e pelas conversas sobre o nosso nordeste brasileiro.

Aos professores Umberto Euzébio (Biologia), Maria da Graça Hoefel (Saúde Coletiva), Denise Severo (Saúde Coletiva) e os demais que passaram pelo projeto de extensão Vidas Paralelas Indígenas.

Não poderia esquecer de citar Claudia Renault, alguém que sempre me aconselhou, por todas as conversas e desconversas. A todos que trabalha na Maloca – UnB: Bela, Camila, Patrícia e os seguranças.

Por fim, não menos importante. Agradeço a Fernanda Soraggi pela paciência durante os dias de desabafos, aos colegas que moram comigo por entenderem meus momentos de isolamentos no quarto.

Agradeço a Deus e meus protetores pelo dom da vida e dedico este trabalho a minha tia Baé (*in memoriam*) e minha avó Nenzinha por me permitir os primeiros contatos com as madeiras para fins energéticos.

RESUMO

Referência: SILVA, Tanielson Rodrigues. Densidade energética da madeira de *Rhizophora mangle*. 2018. 36 p. Monografia (Engenharia Florestal) – Universidade de Brasília. 2018.

Rhizophora mangle é uma espécie nativa do manguezal brasileiro, conhecida como sapateiro, mangue vermelho e outros. É utilizada pelas populações que vivem nas proximidades do manguezal para fins de construção civil, lenha, carvão e outros. O objetivo deste trabalho é analisar o potencial energético da madeira de *Rhizophora mangle*. Para este fim, foi realizado três tratamentos: T1 (madeira in natura), T2 (Carvão Vegetal) e T3 (Briquetes), com três repetições cada. A madeira de sapateiro apresentou densidade básica de 830kg/m^3 e densidade aparente, a umidade de 15,34%, de $911,83\text{kg/m}^3$. Os briquetes apresentaram a maior densidade aparente e foi estatisticamente superior à madeira e ao carvão vegetal. O poder calorífico superior apresentado pela madeira, carvão e briquete foi respectivamente 4.435 kcal/kg, 6.504,33 kcal/kg e 4.435 kcal/kg. Como esperado, o processo de carbonização propiciou um ganho em poder calorífico superior, que no caso presente foi da ordem de 46,85%. A densidade energética variou de 3.177.042,49 kcal/m³ (madeira) a 4.111.991,54 kcal/m³ (briquete), confirmando que a espécie apresenta boas características para fins de produção energética.

PALAVRAS CHAVE: *Rhizophora mangle*. Densidade energética. Briquete. Carbonização. Biocombustível. Poder calorífico superior. Sapateiro. Mangue vermelho.

ABSTRACT

Rhizophora mangle is a native specie from the brazilian mangrove, it's known as shoemaker, red mangrove and others. It's used by populations that live towards mangroves with the objective to construction, firewood, coal and others. The main objective of this monography is to analyze the wood's energetic potential *Rhizophora mangle*. Therewith, it was made three treatments: T1 (wood in natura), T2 (charcoal) and T3 (Briquettes), with three repetations each. The shoemaker's wood showed the basic density of 830kg/m³, and density, the moisture of 15,34%, of 911,83 kg/m³. The Briquette presented a bigger density and it was statistically superior than the wood and vegetal coal. The highest calorific value showed by the wood, coal and briquete was respectively 4.435 kcal/kg, 6.504,33 kcal/kg and 4.435 kcal/kg. As expected, the carbonization process showed gain in highest calorific value, that in this case, was of 46,85%. The the energy density varied from 3.177.042,49 kcal/m³ (wood) to 4.111.991,54 kcal/m³ (briquette), confirms that the specie produces good particulars to energetic production.

KEYBOARDS: *Rhizophora mangle*. Energetic Density. Brigquette. Carbonization. Biofuel. Heat Power Superior. Mangrove. Red Mangrove.

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO	9
1. INTRODUÇÃO	12
2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA	14
2.1 BIOMASSA	14
2.2 MADEIRA	15
2.3 CARVÃO VEGETAL.....	15
2.4 BRIQUETE	16
2.5 PODER CALORÍFICO DA MADEIRA	17
3. METODOLOGIA	19
3.1 MATERIAL <i>IN NATURA</i>	19
3.1.1 <i>Preparação</i>	19
3.1.2 <i>Teor de umidade</i>	19
3.1.3 <i>Densidade</i>	20
3.2 PODER CALORÍFICO.....	20
3.2.1 <i>Poder calorífico superior (PCS)</i>	20
3.2.2 <i>Poder calorífico inferior (PCI)</i>	21
3.2.3 <i>Poder calorífico útil (PCU)</i>	21
3.3 CARBONIZAÇÃO	21
3.3.1 <i>Densidade relativa aparente do carvão</i>	22
3.3.2 <i>Poder calorífico superior do carvão</i>	23
3.4.1 <i>Densidade aparente sólida</i>	23
3.4.2 <i>Poder calorífico</i>	23
3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA	24
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4.1 DENSIDADE APARENTE (DA).....	25
4.2 PODER CALORÍFICO ÚTIL (PCU)	27
4.3 DENSIDADE ENERGÉTICA (DE)	28
5. CONCLUSÃO	30
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	31

APRESENTAÇÃO

Minha mãe, Dona Antonia, sempre relata que quando pequeno eu vivia dizendo que iria morar em Brasília – DF. Uma vontade associada ao desejo de ajudar meu povo indígena Potiguara da Paraíba. Ainda quando pequeno, lembro-me que meu pai, professor Ailton, comprou uma dessas enciclopédias para que servisse como material de consulta dos estudos na escola da aldeia. Junto a enciclopédia vieram dois encartes, um deles era um teste vocacional. Numa tarde resolvo fazer o teste e como resultado final aparece Engenheiro Florestal. Algo que já me despertava atenção, justamente, pela curiosidade de querer entender com funcionava a floresta. Neste mesmo encarte tinha os locais onde eram ofertados os cursos a época, e na Paraíba não existia listado a oferta de Engenharia Florestal, lembro bem de ter visto em Pernambuco, como local mais próximo, mas nunca passaria em minha cabeça que viesse estudar em Brasília – DF.

Bem, sou conhecido dentro do Movimento Indígena como Poran Potiguara. Sou nativo da cidade de Baía da Traição – PB, situada no litoral norte da Paraíba. Antes de você se perguntar, o nome da cidade foi dado por Américo Vespúcio em 1501 quando o mesmo estava conhecendo o litoral do ‘novo continente’, e meus antepassados Potiguara comeram algumas pessoas de sua tripulação. Ele achou isso uma traição por ser uma baía e resolveu marcá-la para sempre na memória colonizadora, (Descrito na Lettera de 1501). Estudei a vida toda nas aldeias Potiguara, sou fruto de uma geração de jovens que cursaram todo o ensino (primário até o médio) dentro de suas comunidades e tive a honra de ter meu pai como professor e minha mãe como colega de classe. Algo que considero raro na vida de muita gente. Acredito que foi o fato de ter estudado na escola Pedro Poty que me fez estar onde estou e ser o que sou, o Poran Potiguara, referência dentro do movimento estudantil indígena no Ensino Superior.

Quando pequeno tive a oportunidade de muitas vezes ir com minha avó buscar lenha nas matas que estão nas proximidades de minha aldeia. Procurávamos locais queimados justamente pelo fato da madeira estar seca, hoje entendo que parte dela estava também carbonizada, que em tese, tem tendências a apresentar um poder calorífico superior maior algo que ajuda no processo de combustão. Bastava minha avó olhar para determinado arbusto e já percebia se era “bom de fogo”, ou não, popularmente dizendo.

Hoje após quase 20 anos é que busco entender o que faz uma espécie ser melhor para o fogo do que outras.

Conversando com meu orientador hoje sei a resposta do por que minha avó escolhia as madeiras queimadas ou secas, pois “*quanto menor o teor de umidade da madeira, maior será a produção de calor por unidade de massa*”. Algo determinante para se alcançar um menor tempo de combustão, redução de fumaça e outros. Esta afirmação responde a escolha da minha avó, mas não responde como ela chegou nisso. E para contextualizar, trarei outra vivência da aldeia.

O mês de junho é o período das festividades juninas, conhecido como o natal nordestino e a fogueira ainda é uma pratica muito forte nestas festividades, inclusive dentro das aldeias. Então, há toda uma preparação, têm famílias que cortam madeiras e as guardam meses para fazer suas fogueiras e aquelas que não se precavam e realizam uma busca por lenha nas proximidades, fazendo com que algumas famílias utilizem madeiras verdes em suas fogueiras. Uma luta para fazer com que elas acendam e quando conseguem há uma grande quantidade de fumaça produzida, a medida em que a madeira entrava em combustão e a temperatura aumentava. Importante observar que que estas famílias não usam quaisquer espécies verdes, só aquelas que tenham algo que ajude na combustão mesmo estando verde, como o cajueiro (*Anacardium occidentale L.*) que possui uma resina que ajuda na combustão, por exemplo.

A umidade é uma das variáveis que deve ser controlada em relação ao uso da madeira para produção energética, pois a alta umidade impede que ela apresente bons rendimentos como lenha. Ou seja foram as práticas do dia a dia que ajudaram minha avó e meus ancestrais a concluir que madeiras mais secas são melhores para a produção de energia. Tenho certeza que baseado na experiência e na “tentativa e erro” é que estas famílias chegaram à conclusão que o mangue vermelho é muito bom para o fogo estando na condição seca.

A temática deste Trabalho de Conclusão de Curso – TCC surgiu justamente por tanto ouvir nas comunidades Potiguara que o mangue vermelho (*Rhizophora mangle*), é uma madeira que deve ser tirada somente em noites escuras e que não deve usá-la em contato direto com chão, ou seja, os Potiguara a usam para seus telhados. Isso me despertou uma imensa curiosidade de tentar entender o porquê daqueles costumes.

Devido às limitações no transporte da madeira, na quantidade de árvores utilizadas e outros, acabamos mudando o foco da pesquisa, mas mantendo a mesma espécie. Saliento, que é uma espécie utilizada pelos Potiguara na construção civil e produção de energia (carvão, lenha). Inclusive, há relatos dos usos da mesma como biocombustível pela Companhia de Tecidos Rio Tinto, que usava a madeira para queima nas caldeiras de sua fábrica de tecido. Não sei se eles (a companhia) já conheciam o potencial energético da espécie ou se faziam o uso por que era uma madeira que tinha em abundância na região. O que se sabe é que as árvores do mangue de hoje sofreram mudanças devido ao uso da madeira para energia pela Companhia de Tecidos Rio Tinto.

Neste trabalho vamos analisar o potencial desta espécie como biocombustível na condição in natura, carvão e briquete.

1. INTRODUÇÃO

O território do Povo indígena Potiguara da Paraíba tem aproximadamente 34 mil hectares, e nos seus extremos norte e sul estão situadas as áreas de manguezais. Nestas, estão algumas aldeias que dependem diretamente deste ecossistema costeiro e que são comunidades que entendem perfeitamente a dinâmica do manguezal. Costumo falar que mais de 80% destas comunidades possuem uma relação simbiótica com o manguezal, extraindo dele seus sustentos.

É justamente esta relação simbiótica construída há séculos que faz com que os Potiguara consigam compreender o uso das espécies madeireiras do mangue, distinguindo inclusive melhores aplicabilidades às mesmas. Ou seja, usam determinadas espécies para determinados fins. No mangue brasileiro temos a ocorrência das espécies de *Rhizophora mangle* (L.) (Rhizophoraceae), *Rhizophora harrisonii* (L.) (Rhizophoraceae), *Rhizophora racemosa* G. Mey. (Rhizophoraceae), *Avicennia schaueriana* Stapf & Leechm. ex 13 Moldenke (Acanthaceae), *Avicennia germinans* (L.) L. (Acanthaceae), *Laguncularia racemosa* (L.) C.F. Gaertn. (Combretaceae), (MAGRIS e BARRETO, 2010), citados por (AMORIM, 2015). Segundo dados do Ministério do Meio Ambiente de 2009, o Brasil tinha cerca de 1.225.444 hectares de manguezal, que ocorria desde do Oiapoque – AP, até a Laguna em Santa Catarina (MMA, 2009).

Neste trabalho será estudo a espécie de *Rhizophora mangle* L. (Rhizophoraceae), conhecida como mangue vermelho, sapateiro, mangue de raiz, mangue gaiteiro e outros. A árvore, apresenta copa simples, com densidade foliar intermediária, ramificação racemosa e espalhamento alternado, com presença de raízes fúlcneas. Com folhas simples, opostas, aglomeradas nos terminais dos ramos, ápice obtuso, base cuneada, coriácea e glabras em ambas as faces. Apresentam flores de cor brancas-amarelada, pequenas e fruto carnoso tipo baga, com uma única semente. A casca morta é fina e rugosa, de cor acinzentada, com estrias e coberta por pequenas lenticelas. A casca viva apresenta cor marrom-claro que muda para avermelhado ao ser cortado, justamente devido a presença de tanino. Inclusive, este é um dos motivos pelo qual a espécie é conhecida por mangue vermelho (SILVA *et al.*, 2013).

Além dos diversos usos associados a madeira do sapateiro, os Potiguara fazem o uso da madeira seca como lenha. Eles a coletam no mangue, ou seja, não há a prática de

colher a madeira verde para este fim, mas há a busca pelas árvores secas no manguezal. Existem relatos que algumas famílias realizavam a produção de carvão com a madeira de sapateiro, mas era uma produção para uso particular, familiar e não uso comercial e classificavam-na como de boa qualidade. Por apresentar boa combustão, possibilitava o cozimento da comida de forma mais rápida. Interessante citar, que os Potiguaras associavam esta qualidade a um tipo de óleo que se desprende durante o processo de queima, inclusive com liberação de gases que são percebidos durante a queima. Algo que me desperta interesses em investigações futuras.

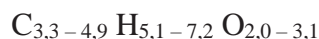
Como bem se sabe o uso da madeira para fogo é algo que acompanha a humanidade desde suas origens. O domínio do fogo possibilitou uma ampliação do conhecimento em relação aos diversos usos da madeira, especialmente para a produção de energia em forma de calor. O Brasil possui uma grande variedade de espécies lenhosas, e muitas ainda precisam ser analisadas quanto às suas características anatômicas, físicas, químicas e mecânicas de forma mais aprofundada, um desafio para a ciência florestal. Na concepção da maioria da população, toda madeira é boa para fogo, ou seja, é um bom combustível. Mas na prática só quem faz o uso diário de lenha é qual conhece minimamente qual melhor queima e quem só produz cinzas e fumaça.

Por isso se faz necessário os estudos para o conhecimento do potencial energético das espécies florestais e a densidade energética é uma das características utilizada para este fim. Neste sentido, o objetivo deste trabalho é analisar o potencial energético da madeira de *Rhizophora mangle*, a partir da densidade energética.

2. REVISÃO BIBLIOGRAFICA

2.1 BIOMASSA

Biomassa, assim como petróleo, é um hidrocarboneto, mas diferentemente dos combustíveis fósseis, ela possui átomos de oxigênio na sua composição química. A presença desse átomo de oxigênio faz com que a biomassa requeira menos oxigênio do ar, conseqüentemente seja menos poluente, mas também reduz a quantidade de energia a ser liberada, reduzindo o seu PCS. Madeira, de maneira geral, possui a seguinte fórmula química empírica (BARRETO *et al.*, 2008).



Quando se fala de biomassa vegetal automaticamente está se falando de hemicelulose, celulose e lignina, seus principais constituintes. Claro que não se deve esquecer dos compostos alifáticos e fenólicos. Juntas a hemicelulose e celulose formam a holocelulose, compondo as paredes das fibras da madeira. Já a lignina é classificada como um polímero tridimensional que tem a finalidade de manter as fibras juntas (BARRETO *et al.*, 2008).

Hemicelulose: $C_6 H_{10} O_5$

Celulose: $C_5 H_8 O_4$

Lignina: $C_9 H_{10} (OCH_3)_{0,9-1,7}$

A biomassa exerce um papel relevante, sendo umas das fontes de energia renovável mais explorada e desenvolvida no planeta e tem na madeira sua principal representante. A madeira pode ser utilizada diretamente ou transformada em outro combustível sólido, líquido ou gasoso através dos conversores energéticos, cuja ação está associada a uma elevação de temperatura, com mudanças nos estados químicos e físicos (RODRIGUES, 2009).

Segundo a FAO (2017), as florestas são a usina da natureza e um recurso vital para atender à demanda mundial de energia renovável. No mundo 2,4 bilhões de pessoas fazem uso da lenha para cozinhar seus alimentos, esterelizar água para consumo e aquecer suas casas. Para o ano 2030 aproximadamente 900 milhões de pessoas estarão envolvidas diretamente no setor madeira-energia nos países em desenvolvimento, reforçando ainda mais a necessidade de aprimorar os processos de conversão energética da biomassa da madeira.

2.2 MADEIRA

Desde a pré-história a madeira é um dos materiais mais utilizados pela humanidade na fabricação de armas, postes, casas instrumentos musicais, como meio de transporte entre outros. Ao longo do tempo, com o avanço tecnológico em maquinários, foi possível o aprimoramento no uso da madeira para como painéis, celulose, papel e outros. Conforme IBA (2014) o Brasil tem 7,74 milhões de hectares de florestas plantadas para atender as diversas demandas para os usos da madeira. Apenas 9% da madeira utilizada comercialmente no Brasil é de origem nativa de florestas manejadas. Do total 10% são utilizados para produção energética enquanto a venda da madeira in natura e produção de celulose somam mais de 60%.

Predominam no Brasil espécies folhosas (Angiospermas), madeira dura em detrimento das coníferas (Gimnospermas), madeira mole e, independente do gênero e da espécie, a madeira é constituída de 50% de carbono, 44% de oxigênio e 6% de hidrogênio (RODRIGUES, 2009).

2.3 CARVÃO VEGETAL

De uma forma geral o carvão vegetal é o produto resultante da carbonização da madeira e tem como objetivo a concentração de carbono fixo, importante elemento no processo de redução do minério de ferro a gusa, onde participa como termo redutor. Em 2014, o consumo de carvão vegetal no Brasil alcançou 5,30 milhões de toneladas sendo 81% da madeira utilizada para produção oriunda de florestas plantadas segundo IBA

(2014). Interessante citar que praticamente toda produção de carvão brasileira é consumida internamente, sendo as empresas de ferro e aço as maiores consumidoras.

O carvão vegetal é um combustível e agente redutor de origem renovável que possui importante papel na economia de diversos países e na vida de grande número de pessoas ao redor do mundo, sendo utilizado como fonte de energia doméstica e ou industrial, além de elemento chave em processos da indústria química e siderúrgica. O Brasil é o primeiro produtor e consumidor mundial de carvão vegetal com 75% da produção destinada a indústria siderúrgica (FIGUEIREDO, 2009).

Em 2017, o IBGE aponta uma produção de carvão vegetal de mais de 4 milhões de toneladas, sendo o estado de Minas Gerais o maior produtor de carvão vegetal, devido seu uso nas indústrias de ferro e aço.

2.4 BRIQUETE

A briquetagem é uma forma eficiente de concentrar energia disponível na biomassa (BARRETO, 2008). O briquete é produzido a partir do adensamento de partículas de biomassa de baixa granulometria, utilizando de alta pressão e temperatura da ordem de 100°C. A alta pressão e temperatura provocam a plastificação da lignina, que age como substância aglomerante das partículas, descartando a necessidade de adesivos para junção do material na formação do briquete.

Na fabricação de briquete, as matérias-primas utilizadas podem ser: serragem, maravalha, casca de arroz, palha de milho, sabugo, bagaço de cana-de-açúcar, casca de algodão, café entre outros, obtendo-se briquetes com qualidade superior (QUIRINO, 1991).

No Brasil, apesar do briquete ser uma alternativa para aproveitamento de material descartado, principalmente em serrarias, a fabricação do mesmo ainda ocorre de forma um pouco tímida e com uma clientela bem específica que são as fornalhas das padarias, pizzarias e empresas de cerâmica, caracterizando um uso mais comercial do que doméstico. Este uso acontece em substituição a lenha que se utiliza nestas fornalhas.

O fato do briquete ainda ser algo novo no Brasil faz com que muitas pessoas desconheçam o produto, o mesmo ainda não se encontra em abundância nos mercados brasileiros, como o carvão por exemplo. Segundo (GENTIL, 2008), os três estados que

mais produzem briquetes comerciais são Paraná, Santa Catarina e São Paulo. Nestas regiões, há evidências de um mercado de concorrência perfeita, onde há muitos compradores e muitas usinas briquetando e onde o mercado seria tomador de preço. Já em regiões como o Pará, onde existem muitas serrarias, os briquetes são mais usados para cogeração própria das serrarias e produção de carvão para guserias.

O desconhecimento e o não uso do briquete em grande escala, faz com que não se tenha normas específicas para produção de briquetes no Brasil, me refiro a normas comerciais, padrões de qualidades e etc. Isso só reforça a ideia de mais pesquisas para a construção desses padrões que auxiliem na produção e comercialização dos briquetes. Até porque o briquete possibilita um bom aproveitamento do excedente das serrarias e queima de forma mais rápida, elevando as temperaturas e pressão das caldeiras, algo considerado vantajoso em relação a queima da lenha, que demora para queimar, gerando menor temperatura.

2.5 PODER CALORÍFICO DA MADEIRA

O poder calorífico é a quantidade de calor liberado quando um combustível é queimado completamente, em um processo de regime permanente e duas propriedades termodinâmicas que caracterizaram o sistema, além da composição química do material, como a temperatura e pressão retornam a suas condições iniciais. (ÇENGEL, 2006)

(FIGUEIREDO, 2009) corrobora e acrescenta que o poder calorífico de um combustível é igual ao inverso da entalpia de combustão e que é medido em unidade de energia por unidade de massa: J/kg ou cal/g com uma caloria que corresponde a exatamente a 4,1868 joules.

O poder calorífico é classificado em poder calorífico superior (PCS) e poder Calorífico Inferior (PCI), obtendo os dois resultados podemos calcular o Poder calorífico útil (PCU). Uma medida exata da quantidade de calor que é utilizado na combustão. O poder calorífico é dito como superior quando existe a condensação da água após o processo de completo de combustão a uma pressão constante e num estado padrão Figueiredo (2009). O poder calorífico é dito com inferior quando não há condensação da

água. O PCI é proveniente da combustão sob pressão constante, ao ar livre, sem a condensação da água formada (DOAT, 1977).

O poder calorífico não está diretamente relacionado a densidade da madeira, mas é influenciado pela composição química e afetado diretamente pelo teor de umidade. Inclusive o PCI diminui com o aumento da umidade (DOAT, 1977). A madeira apresenta PCS em torno de 4.500 kcal/kg (KOLLMAN & CÔTÉ, 1984). Já (NUMAZAWA, 2000), diz que madeira tropical apresenta um poder calorífico variando de 4.171,68 a 5.106,53 kcal/kg. O carvão apresenta uma variação de 7000 a 7500 kcal/kg (DOAT, 1977).

3. METODOLOGIA

A madeira utilizada no experimento foi tirada na aldeia Tramataia pertencente ao povo Indígena Potiguara da Paraíba, na cidade de Marcação - PB.

3.1 MATERIAL *IN NATURA*

3.1.1 *Preparação*

As toras inicialmente apresentavam comprimento de 1 m e foram subdivididas em três pedaços de comprimentos iguais. Estas subtoras foram divididas em quatro pedaços de igual tamanho e colocadas para secar ao ar livre. A secagem teve duração de aproximadamente um ano e foi realizada na área destinada a secagem de madeira do Laboratório de Produtos Florestais, do Serviço Florestal Brasileiro. Após a secagem, cada pedaço da subtora foi cortada em sentido radial com espessura de aproximadamente cinco centímetros para confecção dos cavacos. Em seguida, na Fazenda Água Limpa – FAL da Universidade de Brasília, o material foi transformado em cavacos.

Os cavacos de madeira foram homogeneizados e divididos em três partes diferentes formando os três tratamentos: T1 (madeira in natura), T2 (Carvão Vegetal) e T3 (Briquetes), com três repetições cada. Parte dos cavacos foram moídos (600 gramas) e utilizados para os ensaios de poder calorífico e a outra parte (aproximadamente 100 gramas) para determinação da densidade.

3.1.2 *Teor de umidade*

Para obtenção do teor de umidade foram selecionados aleatoriamente 10 pedaços de madeira de cada repetição e retirada uma pequena lasca no sentido axial. Após pesagem o material foi totalmente imerso em água por um período de 17 dias, para que pudesse saturar.

Para determinação do teor de umidade (TU), utilizou-se a norma da COPAN 460, que fundamenta a medição da massa úmida (Mu) e da posterior massa seca (Ms) dos

corpos de prova seco e estufa a 103 ± 2 °C. Para este ensaio foi utilizado uma balança com precisão de 10^{-2} g e o teor de umidade foi obtido pela fórmula:

$$TU = \frac{M_u - M_s}{M_s} \times 100 \quad \text{Equação (1)}$$

3.1.3 Densidade

Com base em (VITAL, 1984), a amostra saturada foi pesada e seu volume determinado pelo método de deslocamento de água, que permite medições simples e confiáveis de volumes de madeira que apresente forma irregular. Um béquer contendo água foi colocado sobre a balança e o sistema foi tarado. Em seguida a amostra de madeira foi fixada em uma haste e mergulhada no bequer deslocando a água. O valor da força de empuxo, contrária à submersão da amostra, foi registrado no visor da balança. O volume foi obtido dividindo-se a força de empuxo pela densidade do líquido deslocado. Como a densidade considerada da água foi 1 g/cm^3 o valor registrado no visor da balança correspondeu ao volume da amostra em cm^3 .

Para determinar a densidade da amostra na condição de umidade de equilíbrio e na condição seca a 0% de umidade, a mesma metodologia anterior foi utilizada, com o cuidado de utilizar parafina para impermeabilizar a amostra, possibilitando um isolamento à penetração de água no corpo de prova.

3.2 PODER CALORÍFICO

3.2.1 Poder calorífico superior (PCS)

O PCS foi determinado com base na norma NBR 8633/84 com amostras de aproximadamente 1g, granulometria abaixo de 60 mesh e secas em a estufa a 105 ± 2 °C. Foi utilizada uma bomba calorimétrica modelo IKA C2000 basic.

3.2.2 Poder calorífico inferior (PCI)

O PCI foi determinado com base no poder calorífico superior (PCS), considerando um teor de hidrogênio de 6% segundo (NEVES, 2012), com auxílio da fórmula que segue.

$$PCI = PCS - 600 * [(9 * h) / 100] \quad \text{Equação (2)}$$

3.2.3 Poder calorífico útil (PCU)

O poder calorífico útil (PCU) é determinado com base no poder calorífico inferior, conforme a fórmula que segue.

$$PCU = PCI * (1 - U) - 600 * U \quad \text{Equação (3)}$$

U – teor de umidade em base úmida (%)

3.3 CARBONIZAÇÃO

No processo de carbonização foi utilizado entre 4 e 5 kg de cavacos da espécie analisada.. Foi utilizado um forno da marca Elektro Therm (Linn- Tipo: KK 260 SO 1060) e o experimento foi realizado a uma temperatura máxima de 450 °C por 4 horas. Para vedação da estrutura do forno foi utilizado o produto “orbi veda escapamento”, conhecido comercialmente como “veda escape”, é uma pasta especialmente formulada para reparos e vedação, resistente a altas temperaturas, composto por polímeros inorgânicos, fibras sintéticas e água.

A análise energética do carvão produzido foi composta pela análise química imediata (teor de umidade), pela norma NBR 8112/86 e análise do poder calorífico pela norma NBR 8633/84.

O rendimento gravimétrico foi obtido pela massa do carvão seco a 0% de umidade ($m_{c0\%}$) dividida pela massa seca da madeira ($m_{m0\%}$) como mostra a equação.

$$R_g = (m_{c0\%} / m_{m0\%}) * 100 \quad \text{Equação (4)}$$

3.3.1 Densidade relativa aparente do carvão

Para obtenção da densidade relativa aparente do carvão foi seguida as orientações da norma NBR 9165/1985, com a utilização de uma balança de precisão de 0,1g e de um recipiente cilíndrico com 360 mm de altura e 280 mm de diâmetro. Este mesmo recipiente apresenta um furo a 90 mm da borda superior por onde será feita a drenagem da água do recipiente. Um cesto cilíndrico de arame em seu interior, com tampa e com dimensões de 130 mm de altura, 250 mm de diâmetro e malha de 12,5mm. Este cesto é utilizado para prender o carvão no momento da submersão do mesmo no cilindro.

Para cada ensaio foi utilizado 500 g de carvão seco em estufa a $105 \pm 2^\circ\text{C}$ por 24 horas e em seguida as amostras foram colocadas no dessecador para o esfriamento. Enquanto isso, o recipiente cilíndrico contendo o cesto de arame vazio foi preenchido com água até atingir o furo para drenagem do mesmo.

Com o tubo de drenagem tapado com rolha, cuidadosamente o cesto de arame foi retirado e a amostra de 500g de carvão seco (m_{cs}) foi colocada no seu interior e a tampa fixada. O cesto então foi imerso no recipiente e depois de passar o tempo de 15 min, coletou-se a água que ultrapassou o nível de drenagem e obteve-se a massa de água deslocada ($m_{\text{água}}$).

O cesto de arame com o carvão molhado foi retirado de dentro do recipiente e, após um tempo de 2 min para a saída do excesso de água da superfície do carvão, o mesmo foi pesado, obtendo a massa de carvão úmido (m_{cu}).

Para cálculo da Densidade Aparente utiliza-se a fórmula:

$$D_a = m_{cs} / [m_{\text{água}} + (m_{cu} - m_{cs})] \quad \text{Equação (5)}$$

3.3.2 Poder calorífico superior do carvão

O PCS do carvão foi determinado conforme descrito no item 3.2.1, utilizando amostras aproximadamente iguais a 0,5g por saber que em média o PCS do carvão ser maior do que da madeira *in natura*.

3.4 BRIQUETAGEM

Para o experimento foram produzidos 6 briquetes a partir de 30g de amostra de madeira moída e classificada na peneira de 40 mesh. A briquetagem foi realizada na FAL no laboratório de tecnologia da madeira à temperatura 120 °C, pressão de 80 kgf/cm², tempo de prensagem de 5 minutos e resfriamento de 15 minutos.

3.4.1 Densidade aparente sólida

A densidade foi determinada pelo método estereométrico com base em (VITAL, 1984), medindo-se a massa, a altura e o diâmetro de cada briquete. Com auxílio de um paquímetro foram feitas três medidas de diâmetro (as duas extremidades e a posição mediana e duas medidas cruzadas da altura, trabalhando-se com a média aritmética). Para obtenção da massa do briquete utilizou uma balança com precisão de 10⁻²g.

3.4.2 Poder calorífico

Os poderes caloríficos dos briquetes foram considerados iguais aos poderes caloríficos do material *in natura*.

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O delineamento estatístico adotado para análise do experimento foi: Delineamento Inteiramente Casualizado – DIC. Com três Tratamentos distintos T1 – Resíduo in natura, T2 – Carvão vegetal e T3 – Briquete e três repetições cada.

A estatística descritiva foi realizada pelo cálculo da média, desvio padrão e coeficiente de variação, sendo que para este último foi adotado de 10% aceitável e não 30% como recomenda (PIMENTEL, 1987).

A Análise da Variância (Anova) foi realizada para cada parâmetro analisado (Umidade, Densidade Aparente, Poder Calorífico Útil e Densidade Energética); no caso de diferenças significativas (5%) entre os tratamentos foi feita um teste de média (Tukey).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, estão os valores de “F” da análise de variância, onde se observa que há diferença significativa a 5% de probabilidade entre os tratamentos para as variáveis densidade aparente, poder calorífico útil e densidade energética.

Tabela 1. Valores de “F” para densidade aparente (Da), poder calorífico útil (PCU) e densidade energética (De).

Fonte de variação	GL	Valores de “F”		
		Da	PCU	De
Tratamento	2			
Resíduo	6	56,92*	1.038,90*	6,89*
Total	8			

4.1 DENSIDADE APARENTE (DA)

A madeira de *Rhizophora mangle* apresentou densidade básica de 830kg/m³ e densidade aparente (à umidade de 15,34% em base seca), de 911,83 kg/m³. Portanto, mesmo sem ensaio de dureza, pode-se supor que se trata de uma madeira dura. Em geral, as madeiras brasileiras apresentam densidades entre 200 kg/m³ (balsa) a 1100 kg/m³ (aroeira) (NAHUZ *et al.*, 2013). Há uma relação direta entre densidade e resistência mecânica da madeira, portanto é possível deduzir que a madeira de *Rizophora mangle* é uma madeira resistente à aplicação de carga, isso explica o uso desta madeira pelos Potiguara na construção dos telhados de suas casas. Algo bem interessante pelo fato de ser uma madeira que vive praticamente dentro d’água.

A análise de variância mostrou haver diferença significativa para densidade aparente entre os tratamentos a 5% de probabilidade. Desta forma na Tabela 2, é apresentado o teste de média para os valores médios de densidades aparentes. Os baixos valores do coeficiente de variação indicam precisão experimental. O teste de média

mostra que o briquete apresentou a maior densidade aparente e foi estatisticamente superior à madeira e ao carvão vegetal. O aumento da densidade da madeira quando transformada em briquete foi da ordem de 26,73% enquanto a perda de densidade na transformação da madeira em carvão vegetal foi da ordem de 31,93%. O ganho em densidade na produção de briquete se dá pelo adensamento das partículas a alta pressão, provocando uma diminuição dos espaços vazios existentes na madeira. Por outro lado, a perda de densidade quando da transformação da madeira em carvão vegetal ocorre devido à perda de massa com a saída dos gases no processo de pirólise.

Tabela 2 – Teste de Tukey para densidades medias aparentes entre os tratamentos.

Tratamento	Densidade Aparente (kg/m ³)	Coefficiente de Variação (%)
Briquete	1155,60 a	3,27
Madeira	911,83 b	4,41
Carvão vegetal	620,61 c	0,14

(VALE *et al.*, 2010) trabalhando com espécies do cerrado encontraram valores densidade aparente do carvão vegetal entre 280 kg/m³ (*Vochysia thirsoidea* e *Styphodendron adstringens*) a 430 kg/m³ (*Dalbergia miscolobium*), enquanto (PAES *et al.*, 2012) estudando espécies do semiárido brasileiro encontraram densidades aparentes de carvão vegetal entre 480 kg/m³ (*Mimosa tenuiflora*) e 560 kg/m³ (*Mimosa arenosa*) e (OLIVEIRA *et al.*, 2006), trabalhando com jurema-preta (*Mimosa tenuiflora*) encontraram densidade aparente do carvão de 610 kg/m³, valor próximo ao encontrado nesta pesquisa. (VALE *et al.*, 2010) afirmam que quanto maior a densidade aparente do carvão vegetal melhores as condições de uso principalmente em alto fornos, pois apresentará alta resistência mecânica e maior concentração de carbono.

Segundo (QUIRINO, 2002) e (PEREIRA, 2006), a densidade aparente de briquetes variam entre 1000 a 1300 kg/m³. A densidade aparente do briquete de *Rizophora mangle* foi superior a valores encontrados por (GENTIL, 2008) que encontrou valores de 1080 kg/m³ quando analisou a produção de briquetes de *Pinus* sp de uma empresa de Goiás.

4.2 PODER CALORÍFICO ÚTIL (PCU)

O poder calorífico superior apresentado pela madeira, carvão e briquete foi respectivamente 4.435 kcal/kg, 6.504,33 kcal/kg e 4.435 kcal/kg. Como esperado, o processo de carbonização propicia um ganho em poder calorífico superior, que no caso presente foi de 46,85%. Em relação ao briquete será considerado o mesmo poder calorífico superior da madeira, uma vez que não há mudanças químicas suficientes para alterar o poder calorífico. O aumento do poder calorífico superior do carvão vegetal, se deve à concentração de carbono na forma de carbono fixo na estrutura do carvão vegetal. Não se utiliza o poder calorífico superior para cálculo de massa, por exemplo, em caldeiras, uma vez que o combustível não é queimado na condição de seca a 0% de umidade. Neste sentido é necessária a determinação do poder calorífico útil, que desconta o calor de vaporização da água presente no combustível.

A análise de variância mostrou diferença entre os tratamentos para esta variável e na Tabela 4, estão apresentados os valores médios bem como o teste de média com respectivos coeficientes de variação.

Tabela 4 – Teste de Tukey para poder calorífico útil entre tratamentos.

Tratamento	Pode Calorífico Útil (kcal/kg)	Coeficiente de Variação (%)
Carvão	6129,33 a	2,22
Briquete	3558,17 b	0,59
Madeira	3484,70 b	0,72

Pelo teste de Tukey observa-se que o poder calorífico útil de madeira e briquete são estatisticamente iguais, não havendo diferenças significativas entre si.

O poder calorífico útil da madeira é inferior a resultados encontrados por (VALE *et al.*, 2007), que foi de 3.717 kcal/kg para cedrorana (*Cedrelinga catenaeformis*, Duke), com umidade igual a 22,33%; por (RODRIGUES, 2009) que encontrou 3609,75 kcal/kg ao trabalhar com *Eucalyptus* sp com umidade igual a 15,01%.

Os resultados encontrados de poder calorífico útil para briquete são inferiores aos encontrados por (GONÇALVES *et al.*, 2009) de 3.742,44 kcal/kg com 12% de umidade e superior aos encontrado por (Gentil, 2008), que foi de 3.463 kcal/kg a 12,9% de umidade.

O carvão vegetal produzido apresenta um ganho em poder calorífico útil em relação à madeira da ordem de 80,88%, devido a dois fatores. O primeiro, como foi discutido anteriormente para poder calorífico superior, a concentração de carbono e segundo devido à menor umidade. O valor médio encontrado neste trabalho está abaixo do encontrados por (OLIVEIRA, 2006) que trabalhando com *Mimosa tenuiflora*, com umidade de 1,03%, encontrou 6620,8 kcal/kg

4.3 DENSIDADE ENERGÉTICA (DE)

A tabela 5 apresenta os valores médios das densidades energéticas dos entre os tratamentos. Estatisticamente as medias dos tratamentos T1 e T2 são iguais apresentando diferença significativa do T3 com 5% de probabilidade.

Tabela 5 – Teste de Tukey para densidades energéticas entre os tratamentos.

Tratamento	Densidade Energética(kcal/m³)	Coefficiente de Variação (%)
Briquete	4.111.991,54 a	3,50
Carvão	3.799.402,77 b	13,38
Madeira	3.177.042,49 b	4,04

O teste de Tukey para a densidade energética mostra uma superioridade do briquete em relação a madeira e ao carvão vegetal. É interessante observar que mesmo com menor poder calorífico útil o briquete supera a madeira e o carvão devido a sua elevada densidade.

A densidade energética de qualquer biomassa é extremamente influenciada pelo seu teor de umidade, pela densidade aparente ou a granel e pelo seu poder calorífico útil, que muda muito conforme altera o teor de umidade da biomassa (FOEKEL, 2016).

Partindo do mesmo princípio da relação do poder calorífico útil com a densidade aparente para o carvão vegetal, os resultados encontrados são semelhantes aos valores encontrados por (PAES *et al.*, 2012) e (OLIVEIRA, 2006) para espécies do semiárido brasileiro. *Rizophora mangle*, portanto, equipara em densidade energética a espécies da caatinga brasileira que apresentam elevadas densidades energéticas e são espécies produtoras de carvão como a jurema-preta (FARIA, 1984).

Em relação aos briquetes, os resultados foram semelhantes aos encontrados por (GENTIL, 2008) cujos briquetes foram considerados de boa qualidade energética. Analogamente pode-se afirmar que os briquetes produzidos com madeira de *Rizophora mangle* são também de boa qualidade energética.

5. CONCLUSÃO

A partir deste trabalho é possível concluir que a espécie de *Rhizophora mangle* apresenta boas características/qualidades para produção energética. Uma alternativa para um bom rendimento energético é a transformação da madeira in natura em carvão vegetal ou em briquete, sendo estes últimos com as maiores densidades energéticas. A densidade aparente do carvão vegetal apresentou valores ideais para uso em altos fornos. Devido a sua alta densidade aparente ainda pode-se inferir que é um carvão com boa resistência mecânica e boa concentração de carbono. Os briquetes também apresentaram boas qualidades energéticas configurando um possível uso da espécie para este fim.

Apesar da espécie apresentar boas qualidades para produção energéticas, sabemos que ecossistema manguezal é considerado uma área de preservação permanente e que o uso da espécie de *Rhizophora mangle* se dá apenas pelas comunidades que vivem em interação constante com o manguezal. Neste caso, o trabalho comprova a afirmação dos indígenas Potiguara da Paraíba, no qual afirmam que a espécie é boa para uso como biocombustível (carvão e lenha), corroborando com o saber tradicional baseado nas tentativas de erros e acertos.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 7190. Projeto de estruturas de madeira**. Anexo B – Ensaios de caracterização. Rio de Janeiro, 1997, 107 p.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8112/86**. Rio de Janeiro, 1986.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 8633/84**. Rio de Janeiro, 1984.
- AMORIM, K. S. P. **Cultivo ex vitro de Rhizophora Mangle L.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Espírito Santo, 2015.
- BARRETO, E. J. F.; RENDEIROS, G.; NOGUEIRA, M. Combustão e gasificação de biomassa sólida: soluções energéticas para a Amazônia. **LPT, MME**, 2008.
- BRITO, J. O. *et al.* Análise da produção energética e de carvão vegetal de espécies de eucalipto. **IPEF, Piracicaba**, v. 23, p. 53-56, 1983.
- ÇENGEL, Y.A.; BOLES, M.A. **Termodinâmica**, Ed, 5a, Ed, McGraw-Hill, 2006, 740p.
- DE OLIVEIRA, E. *et al.* Estrutura anatômica da madeira e qualidade do carvão de Mimosa tenuiflora (Willd.) Poir. **Revista Árvore**, v. 30, n. 2, p. 311-318, 2006.
- DOAT, J. Le pouvoir calorifique des bois tropicaux. **Revue Bois et Forêts Tropicaux**, Nancy, France, n.172, p.33-48, Mars-Avril, 1977.
- DO VALE, A. T.; DIAS, Í. S.; SANTANA, M. A. E. Relações entre propriedades químicas, físicas e energéticas da madeira de cinco espécies de cerrado. **Ciência Florestal**, v. 20, n. 1, p. 137-145, 2010.
- FAO - Food and Agriculture Organization of the United Nations. **Forests and Energy**. 2017. FAO: Rome, 2017.
- FARIA, W. L. F. A jurema preta (Mimosa hostilis, Benth) como fonte energetica do semi-arido do nordeste-carvão. 1984.
- FIGUEIREDO, C. K. Análise estatística do efeito da pressão na carbonização da madeira de *Eucalyptus grandis*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal, Publicação EFLM-105/2009, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 104p. 2009.
- FOELKEL, C. Casca da árvore do eucalipto: aspectos morfológicos, fisiológicos, florestais, ecológicos e industriais, visando a produção de celulose e papel., 2005. 109p. 2016.
- GENTIL, L.V.B. Tecnologia e Economia do Briquete de Madeira. Tese de Doutorado em Engenharia Florestal, Publicação EFL TD - 009/2008. Departamento de Engenharia Florestal. Universidade de Brasília. Brasília. DF, 195 p. 2008.

GONÇALVES, J. E.; SARTORI, M. M. P.; LEÃO, A. L. Energia de briquetes produzidos com rejeitos de resíduos sólidos urbanos e madeira de *Eucalyptus grandis*. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, p. 657-661, 2009.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia. Tabela 289- Quantidade produzida e valor da produção na extração vegetal, por tipo de produto extrativo. Brasil, Grande Região e Unidade da Federação – Brasil. 2017.

IBA (2015). Indústria Brasileira de Árvores. Relatório anual. 2015. p 80.

KOLLMANN, F.F.P.; CÔTÉ, W.A. **Principles of wood science and technology**. New York, Springer Verlag. 1984.

MAGRIS, R. A.; BARRETO, R. Mapping and assessment of protection of mangrove habitats in Brasil. **Pan-American Journal of Aquatic Sciencies**, v. 5, n. 4, p. 546-556, 2010.

MMA (2009). Ministério do Meio Ambiente. Manguezais. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/biodiversidade/biodiversidade-aquatica/zona-costeira-e-marinha/manguezais.html>>., Acesso em 23 de outubro de 2018.

NAHUZ, A. R. *et al.* Catálogo de madeiras brasileiras para a construção civil. **IPT– Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo**. São Paulo, 2013.

NEVES, T. A. Qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* cultivados no sul de Minas Gerais. **Universidade Federal de Lavras**, 2012.

NUMAZAWA, S. Contribution à l'étude de la pyrolyse lente sous pression du bois – Détermination des paramètres optima du procédé et caractéristiques des produits obtenus, **Tese de Doutorado**, Université de Technologie de Compiègne, França, 2000.

PAES, J. B. *et al.* Rendimento e caracterização do carvão vegetal de três espécies de ocorrência no semiárido brasileiro. **Revista Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)**, v. 3, n. 1, p. 10-12953/2177-6830. v03n01a01, 2012.

PEREIRA, M. **Prevenção e manutenção de máquinas na Eco Industrial**. Trabalho de Graduação. Faculdade do Instituto Brasil. Anápolis. 2006.

PIMENTEL-GOMES, F. A estatística moderna na pesquisa agropecuária. Potafos, 1987.

QUIRINO, W. F. **Briquetagem de resíduos ligno-celulósicos**. Ed. IBAMA - Circular Técnica do LPF. Vol 1. Nr 2. 1991.

QUIRINO, W. F. **Utilização energética de resíduos vegetais**. Editora IBAMA. Brasília. 2002.

RODRIGUES, T. O. Efeitos da Torrefação no Condicionamento de Biomassa para Fins Energeticos. Dissertação de Mestrado em Engenharia Florestal, Publicação PPGEFL.DM- 109/2009, Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, DF, 2009. 71 p.

SILVA, J. P. G.; SILVA, R. K. S.; LIMA, R. B.A.; SILVA, V. F.; FELICIANO, A. L. P. Caracterização Dendrológica de *Rhizophora mangle* L. Recife – PE. XIII

Jornada de Ensino, Pesquisa e Extensão – JEPEX 2013 – UFRPE. **Anais**. Recife, 2013. p. 1-3.

VALE, T. A. *et al.* Caracterização energética e rendimento da carbonização de resíduos de grãos de café (*Coffea arábica*, L) e de madeira (*Cedrelinga catenaeformis*), Duke. **Cerne**, v. 13, n. 4, 2007.

VITAL, B. R. Método de determinação da densidade da madeira. **Boletim Técnico da SIF**, Viçosa, n. 1, p. 1-21, 1984.